ACADÉMIE DES SCIENCES.

SÉANCE DU LUNDI 8 DÉCEMBRE 1941.

PRÉSIDENCE DE M. HYACINTHE VINCENT.

MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS

DES MEMBRES ET DES CORRESPONDANTS DE L'ACADÉMIE.

MM. **MAURICE LUGEON** et **ELIE GAGNEBIN**, par l'organe de M. **CH. JACOB**, font hommage à l'Académie d'un Mémoire intitulé *Observations et vues nouvelles sur la géologie des Préalpes romandes* (*Bulletin* n° 72 *du Laboratoire de Géologie de l'Université de Lausanne*, 90 p., 15 fig. et 1 Carte hors texte).

CORRESPONDANCE.

M. le **SECRÉTAIRE PERPÉTUEL** signale parmi les pièces imprimées de la Correspondance :

1° INSTITUT FRANÇAIS D'ARCHÉOLOGIE DE STAMBOUL. *Phrygie. Exploration archéologique.* Tome I. *Géologie et Géographie physique* par ERNEST CHAPUT. Paris, 1941. Mém. in-4° de 144 p., 9 fig., 5 Pl. et 1 Carte géologique au 1 400000e.

2° *Carte géologique de la Syrie et du Liban* au 1 : 1 000000e, dressée par LOUIS DUBERTRET. 2e édition. Beyrouth, juin 1941.

ANALYSE MATHÉMATIQUE. — *Sur une dégénérescence des fonctions d'Appell.* Note (1) de M. **E. ARGENCE**, présentée par M. Paul Montel.

1. Les n fonctions

$$U_i = e^{-(\lambda_2+\lambda_3+\dots\lambda_n)} P_i(\lambda_2\varphi_2, \lambda_3\varphi_3, \dots, \lambda_n\varphi_n) \qquad (i=1, 2, \dots, n),$$

---

(1) Séance du 24 novembre 1941.

où P désigne les n fonctions d'Appell généralisées, sont solutions des équations de M. Botéa

$$\begin{vmatrix} \frac{\partial}{\partial\varphi_1} & \frac{\partial}{\partial\varphi_2} & \cdots & \frac{\partial}{\partial\varphi_n} \\ \frac{\partial}{\partial\varphi_n} & \frac{\partial}{\partial\varphi_1} & \cdots & \frac{\partial}{\partial\varphi_{n-1}} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \frac{\partial}{\partial\varphi_2} & \frac{\partial}{\partial\varphi_3} & \cdots & \frac{\partial}{\partial\varphi_1} \end{vmatrix} \mathrm{U} = 0.$$

A ces équations sont attachées les géométries quasi euclidiennes dont l'élément ds^n est du type de M. Botéa ([2]).

2. On peut se proposer de chercher les équations différentielles et les fonctions d'Appell dégénérées correspondant aux variétés à $n-p$ dimensions des espaces de M. Botéa.

Considérons l'équation du troisième ordre à deux variables

$$\frac{\partial^2}{\partial u\, \partial v}\left(\frac{\partial \mathrm{U}}{\partial u} + \frac{\partial \mathrm{U}}{\partial v}\right) = 0. \tag{1}$$

Effectuons le changement de variables

$$u = \xi + \eta$$
$$v = j\xi + j^2\eta \qquad \text{avec} \quad j^3 = 1 \qquad (j \neq 1).$$

Nous obtenons

$$\frac{\partial^3 \mathrm{U}}{\partial \xi^3} + \frac{\partial^3 \mathrm{U}}{\partial \eta^3} = 0 \qquad \text{ou} \qquad \begin{vmatrix} \frac{\partial}{\partial\xi} & \frac{\partial}{\partial\eta} & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial\xi} & \frac{\partial}{\partial\eta} \\ \frac{\partial}{\partial\eta} & 0 & \frac{\partial}{\partial\xi} \end{vmatrix} \mathrm{U} = 0. \tag{1'}$$

Considérons de même les équations du quatrième ordre

$$\frac{\partial^3}{\partial u\, \partial v\, \partial w}\left(\frac{\partial \mathrm{U}}{\partial u} + \frac{\partial \mathrm{U}}{\partial v} + \frac{\partial \mathrm{U}}{\partial w}\right) = 0, \tag{2}$$

$$\frac{\partial^2}{\partial u\, \partial v}\left(\frac{\partial^2 \mathrm{U}}{\partial u^2} + \frac{\partial^2 \mathrm{U}}{\partial v^2}\right) = 0. \tag{3}$$

([2]) *Comptes rendus*, **195**, 1932, p. 992.

Effectuons, dans l'équation (2), le changement de variables

$$(\text{II})\qquad \left\{\begin{array}{l} u = \xi + \eta + \zeta, \\ v = i\xi - \eta - i\zeta, \\ w = -\xi + \eta - \xi, \end{array}\right.$$

et, dans l'équation (3),

$$(\text{III})\qquad \left\{\begin{array}{l} u = \xi + \eta, \\ v = \eta - \xi. \end{array}\right.$$

Nous obtenons les équations

$$(2')\qquad \begin{vmatrix} \frac{\partial}{\partial\xi} & \frac{\partial}{\partial\eta} & \frac{\partial}{\partial\zeta} & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial\xi} & \frac{\partial}{\partial\eta} & \frac{\partial}{\partial\zeta} \\ \frac{\partial}{\partial\zeta} & 0 & \frac{\partial}{\partial\xi} & \frac{\partial}{\partial\eta} \\ \frac{\partial}{\partial\eta} & \frac{\partial}{\partial\zeta} & 0 & \frac{\partial}{\partial\xi} \end{vmatrix} \mathrm{U} = 0,$$

$$(3')\qquad \begin{vmatrix} \frac{\partial}{\partial\xi} & \frac{\partial}{\partial\eta} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial\xi} & \frac{\partial}{\partial\eta} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial\xi} & \frac{\partial}{\partial\eta} \\ \frac{\partial}{\partial\eta} & 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial\xi} \end{vmatrix} \mathrm{U} = 0,$$

auxquelles sont associés les éléments linéaires

$$ds^4 = p_4(d\xi,\ d\eta,\ d\zeta,\ 0),$$
$$ds^4 = p_4(d\xi,\ d\eta,\ 0,\ 0).$$

Ces résultats s'étendent aisément à l'hyperespace.

Considérons les fonctions d'Appell dégénérées

$$\varpi_1 = \frac{e^{\varphi_2+\varphi_3+\ldots+\varphi_p} + e^{j_1\varphi_2+j_1^2\varphi_3+\ldots+j_1^{p-1}\varphi_p} + \ldots + e^{j_{n-1}\varphi_2+\ldots+j_{n-1}^{p-1}\varphi_p}}{n},$$

$$\varpi_2 = \frac{e^{\varphi_2+\varphi_3+\ldots+\varphi_p} + j_1\, e^{j_1\varphi_2+j_1^2\varphi_3+\ldots+j_1^{p-1}\varphi_p} + \ldots + j_1^{n-1}\, e^{j_{n-1}\varphi_2+\ldots+j_{n-1}^{p-1}\varphi_p}}{n},$$

. . . . ,

$$\varpi_n = \frac{e^{\varphi_2+\varphi_3+\ldots+\varphi_p} + j_{n-1}\, e^{j_1\varphi_2+j_1^2\varphi_3+\ldots+j_1^{p-1}\varphi_p} + \ldots + j_{n-1}^{n-1}\, e^{j_{n-1}\varphi_2+\ldots+j_{n-1}^{p-1}\varphi_p}}{n},$$

avec $j^n = 1$.

Les n fonctions

$$U_i = e^{-(\lambda_2+\lambda_3+\ldots+\lambda_p)x_1}\varpi_i(\lambda_2 x_2, \lambda_3 x_3, \ldots, \lambda_p x_p)$$

sont solutions des équations

$$\Delta_{n,p}U = 0 \qquad \text{où} \quad \Delta_{n,p}U = \begin{vmatrix} \frac{\partial}{\partial x_1} & \frac{\partial}{\partial x_2} & \cdots & \frac{\partial}{\partial x_p} & 0 & \cdots & \cdots & \cdots & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial x_1} & \cdots & \frac{\partial}{\partial x_{p-1}} & \cdot & \cdots & \frac{\partial}{\partial x_p} & \cdots & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdot & \cdots & \cdots & \cdots & \cdot \\ \frac{\partial}{\partial x_2} & \cdots & \cdots & \frac{\partial}{\partial x_p} & 0 & \cdots & \frac{\partial}{\partial x_1} & \cdots & \cdot \end{vmatrix}.$$

En particulier, pour les équations (1) nous obtenons

$$U_1 = e^{-\lambda\xi} f_1(-\lambda\eta),$$
$$U_2 = e^{-\lambda\xi} f_2(-\lambda\eta),$$
$$U_3 = e^{-\lambda\xi} f_3(-\lambda\eta);$$

où f_1, f_2, f_3 désignent les sinus d'ordre supérieur de Villarceau. De même, pour les équations (2')

$$U = e^{-(\lambda+\mu)\xi}(e^{\lambda\eta}\,\mathrm{ch}\,\mu\zeta \pm e^{-\lambda\eta}\cos\mu\zeta),$$
$$V = e^{-(\lambda+\mu)\xi}(e^{\lambda\eta}\,\mathrm{sh}\,\mu\zeta \pm e^{-\lambda\eta}\sin\mu\zeta).$$

On obtiendrait de même des solutions des équations (3') en posant $\lambda = 0$ ou $\mu = 0$.

MÉCANIQUE. — *Sur les équilibres limites des milieux continus.* Note de M. André Charrueau, présentée par M. Henri Villat.

Considérons le problème *général* des équilibres limites *plans*. L'équilibre est supposé limite en tout point. Les forces et les contraintes sont indépendantes de la coordonnée z du système trirectangulaire $Oxyz$ choisi.

I. *Supposons d'abord le milieu homogène.* — On a

$$\frac{\partial N_x}{\partial x} + \frac{\partial T_{xy}}{\partial y} = X, \tag{1}$$

$$\frac{\partial T_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial N_y}{\partial y} = Y, \tag{2}$$

$$(N_x - N_y)^2 + 4T_{xy}^2 = 4f(N_x + N_y). \tag{3}$$

N_x, N_y, N_{xy} ont le sens habituel; X et Y, fonctions de x et y, sont les composantes de la force extérieure; $f(N_x + N_y)$ est une fonction de $N_x + N_y$ déduite de la courbe intrinsèque, Γ, *quelconque*.

1° Le système (1), (2), (3) peut être ramené à un système de *deux équations linéaires* aux dérivées partielles du *premier ordre* de deux fonctions inconnues de x et y.

a. Prenons d'abord pour fonctions inconnues $m = (N_x + N_y)/2$ et θ, angle de la plus grande contrainte principale et de l'axe des x. M. Mandel [1] a indiqué que les courbes caractéristiques du système obtenu ne sont autres que les lignes de glissement. On le vérifie sur la première équation des deux systèmes suivants, qui sont ceux des caractéristiques

$$(4)\quad \begin{cases} dy - \operatorname{tang}\left(\theta - \dfrac{\pi}{4} + \dfrac{\varphi}{2}\right) dx = 0, \\ 2a(\sin\varphi + \cos 2\theta)\left(\dfrac{\cos\varphi}{2a}\, dm - d\theta\right) \\ \quad - \{X\cos(2\theta - \varphi) + Y[-1 + \sin(2\theta - \varphi)]\}\, dx = 0, \end{cases}$$

$$(5)\quad \begin{cases} dy - \operatorname{tang}\left(\theta + \dfrac{\pi}{4} - \dfrac{\varphi}{2}\right) dx = 0, \\ 2a(\sin\varphi + \cos 2\theta)\left(\dfrac{\cos\varphi}{2a}\, dm + d\theta\right) \\ \quad - \{X\cos(2\theta + \varphi) + Y[1 + \sin(2\theta + \varphi)]\}\, dx = 0; \end{cases}$$

φ est l'angle que fait, avec l'axe de Γ, la tangente commune à cette courbe et à la circonférence de Mohr, en leur point de contact (ν, τ) du demi-plan $\tau > 0$. a est le rayon de cette circonférence. a et φ sont des fonctions connues de m.

b. On peut prendre N_x et T_{xy} comme fonctions inconnues. Les équations des deux systèmes de caractéristiques sont alors

$$(6)\quad \begin{cases} dy - \mu_1\, dx = 0, \\ \mu_2\, dN_x - dT_{xy} - (\mu_2 X - Y)\, dx = 0; \end{cases}$$

$$(7)\quad \begin{cases} dy - \mu_2\, dx = 0, \\ \mu_1\, dN_x - dT_{xy} - (\mu_1 X - Y)\, dx = 0. \end{cases}$$

μ_1 et μ_2 sont les racines de $\xi\mu^2 - 2T_{xy}\mu + \eta = 0$, avec

$$\xi = N_x - \nu, \qquad \eta = N_y - \nu = \frac{T_{xy}^2 - \tau^2}{\xi}.$$

---

(1) *Comptes rendus*, **206**, 1937, pp. 317 et 318.

On a

$$\mu_1 = \frac{T_{xy} - \tau}{\xi}, \qquad \mu_2 = \frac{T_{xy} + \tau}{\xi},$$

et ν, τ, ξ, η, μ_1, μ_2 sont des fonctions connues de N_x et T_{xy} seuls.

2° On peut aussi déduire de (1), (2), (3) une équation *linéaire* aux dérivées partielles du *second ordre*. Soient P et Q deux fonctions déterminées de x et y telles que $\partial P/\partial x = X$, $\partial Q/\partial y = Y$. Si l'on écrit

$$(8) \qquad N_x = \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} + P, \qquad N_y = \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} + Q, \qquad T_{xy} = -\frac{\partial^2 F}{\partial x\, \partial y},$$

où F est une fonction de x et y, les équations (1) et (2) sont satisfaites. Portant les valeurs (8) dans (3), dérivant les deux membres par rapport à y et posant

$$\frac{\partial F}{\partial y} = u, \qquad \frac{\partial u}{\partial x} = p, \qquad \frac{\partial u}{\partial y} = q, \qquad \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = r, \qquad \frac{\partial^2 u}{\partial x\, \partial y} = s, \qquad \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = t,$$

on obtient l'équation linéaire

$$(9) \qquad \xi r + 2 T_{xy} s + \eta t + \xi Y + \eta \frac{\partial P}{\partial y} = 0,$$

dont tous les coefficients sont des fonctions connues de x, y, p, q seuls.

Les courbes caractéristiques de (9) sont les mêmes que celles des systèmes du premier ordre étudiés aux paragraphes I, 1° *a* et *b*.

II. *Considérons maintenant un milieu hétérogène.* — Nous supposons que la courbe intrinsèque relative à tout point (x, y, z) du milieu est représentée par une équation dont la forme est indépendante de la position du point, mais *dans laquelle x et y figurent comme paramètres.* Les méthodes indiquées aux paragraphes I, 1° et 2° s'appliquent, avec les changements appropriés. On démontre notamment que *les courbes caractéristiques* des systèmes du premier ordre ou de l'équation du deuxième ordre que l'on obtient *sont encore les lignes de glissement.*

RELATIVITÉ. — *Sur deux questions de relativité.* Note de M. **Olivier Costa de Beauregard**, présentée par M. Louis de Broglie.

Variance du moment magnétique sous forme finie. — La question a été soulevée de différents côtés [1], mais sans qu'une réponse satisfaisante lui

---

[1] Voir par exemple Uhlenbeck et Laporte, *Phys. Rev.*, 37, 1931, p. 1553.

ait été donnée, du moins à notre connaissance. Le problème peut être traité d'une manière purement formelle, dans le même esprit que celui du moment cinétique propre que nous avons étudié l'an dernier (²).

Partons du fait que c'est un tenseur antisymétrique du second rang $\mu_{ij}(i, j = 1, 2, 3, 4)$ qui décrit les densités de moments magnétique et électrique à la fois. Ce tenseur, convenablement multiplié par l'élément trilinéaire $[dx^i dx^j dx^k]$ ou par son quadrivecteur dual δu^l, puis intégré sur l'hypercloison du genre espace qui décrit un état (généralement non simultané) du fluide polarisé, donnera le moment électrique E ou le moment magnétique M fini; pour fixer les idées, considérons ce dernier cas.

En raisonnant sur le quadrivecteur δu^l (dont la composante δu^4 représente le volume élémentaire δu), nous voyons qu'il y a deux hypothèses possibles

$$\delta M_j = \mu_{ij}\,\delta u^i, \qquad \delta M_{ijk} = \mu_{ij}\,\delta u_k;$$

la première conduit, pour le moment δM, à un quadrivecteur, et la seconde à un tenseur du troisième rang, antisymétrique par rapport aux deux premiers indices, et ayant par conséquent 24 composantes distinctes en module. Il n'existe pas de combinaison additive des $\mu_{ij}\,\delta u_k$ qui assure automatiquement l'antisymétrie complète de δM, de sorte qu'il semble bien qu'il faille, pour des raisons physiques, écarter cette seconde hypothèse : on n'a jusqu'ici, en effet, aucune raison d'admettre une pareille complexité pour le moment fini.

En raisonnant sur l'élément trilinéaire $[dx^i dx^j dx^k]$ lui-même, on aboutit aux mêmes conclusions : en effet, des trois hypothèses *a priori* possibles caractérisées par le nombre 2, 1, ou des indices muets, la dernière doit être rejetée comme conduisant au rang 5 pour le tenseur produit; les deux premières correspondent respectivement à celles envisagées précédemment.

Lorsque l'élément fluide est considéré simultanément ($\delta u^u = 0$; $u = 1, 2, 3$), δM_4 s'annule et l'expression de chacun des trois δM_u ne comprend qu'un seul terme : celui en μ_{4u}. On retombe ainsi sur la notion habituelle de densité vectorielle spatiale, les trois μ_{4u} représentant la densité de moment magnétique.

Plaçons-nous maintenant dans le système galiléen entraîné, et admet-

---

(²) *Comptes rendus*, **211**, 1940, pp. 228 et 499.

tons, par exemple (comme il arrive pour le fluide de probabilité de Dirac), que les trois μ_{uv} caractérisant la densité du moment électrique s'y annulent. On a

$$\delta M_u = \mu_{4u}\,\delta u^4, \qquad \delta M_4 = -\,\mu_{4u}\,\delta u^u,$$

de sorte que, même dans un tube d'Univers infiniment délié, le quadrivecteur moment magnétique fini dépend de l'orientation de l'hypersection; c'est là une circonstance gênante qui, comme on sait, ne se produit pas dans le problème de l'impulsion-masse. Si, par un passage à la limite, nous voulons définir sans ambiguïté le moment magnétique propre d'un point matériel, nous devrons prendre une hypersection normale; dans ce cas, la composante M_4 s'annule dans le système propre, de sorte que le quadrivecteur M_i, du genre espace, satisfait à la relation bien connue dans le cas de la densité de force de Lorentz, par exemple.

Sur la cinématique du solide en rotation. — L'hypothèse simple d'une contraction radiale convenable permet de lever le paradoxe bien connu qui se présente pour la mise en rotation d'un solide initialement au repos dans un certain système galiléen; une conséquence physiquement intéressante de cette loi de contraction est qu'il devient possible en principe d'augmenter indéfiniment la vitesse angulaire d'un solide donné sans que jamais la vitesse linéaire d'aucun de ses points dépasse c.

Prenons comme référence le système galiléen lié à l'axe de rotation (supposé sans précession) et postulons que, malgré la contraction de Lorentz qui joue pour les éléments matériels de chaque circonférence, ceux-ci doivent rester jointifs; il s'ensuit nécessairement, r_0 désignant la valeur au repos du rayon r et ω la vitesse angulaire, une contraction radiale définie par la loi

$$r^2 = r_0^2\left(1 - \frac{\omega^2 r^2}{c^2}\right);$$

précisons bien qu'il s'agit là d'un effet relativiste transversal non pas direct, mais induit, venant en conséquence d'un postulat physique spécial.

Résolvant la relation précédente par rapport à r^2, il vient, comme il a été annoncé,

$$\omega^2 r^2 = \frac{c^2}{1 + \dfrac{c^2}{\omega^2 r_0^2}} < c^2.$$

DYNAMIQUE STELLAIRE. — *Les figures des nébuleuses elliptiques et les figures des nébuleuses spirales sont-elles les phases successives de l'évolution normale des univers?* Note de M. **Hervé Fabre**, présentée par M. Jean Chazy.

On sait que les univers stellaires extérieurs à la Galaxie affectent, de préférence, soit la forme d'un ellipsoïde de révolution aplati avec un noyau central plus ou moins prononcé, soit, plus souvent encore, la forme d'une spirale constituée par deux branches presque symétriques issues d'un noyau central et accomplissant un parcours angulaire compris, pour chacune d'elles, entre un demi-tour et un tour et demi de spire, dans la plupart des cas observés. La classification de Hubble introduit ensuite huit catégories d'univers sphéroïdaux ou nébuleuses elliptiques, à savoir : E_0 sphérique, puis E_1, E_2, E_3, E_4, E_5, E_6, E_7 d'aplatissements croissants, et trois catégories d'univers spiraux ou nébuleuses spirales : S_a, S_b, S_c, les indices a, b, c marquant les degrés successifs de l'épanouissement des branches. Or un univers de forme sphéroïdale avec un sens général de rotation autour du petit axe ne peut évoluer qu'en s'aplatissant, d'où il résulte que les stades E_1, E_2, ..., E_7 des nébuleuses elliptiques sont atteints l'un après l'autre par toute nébuleuse partie du stade E_0. D'autre part, des marques très nettes d'évolution se manifestent dans la séquence S_a, S_b, S_c des nébuleuses spirales lorsqu'on examine les nodosités situées le long des branches, et dont la nature stellaire est la même dans les nébuleuses S_c que dans les nuages d'étoiles de notre Galaxie. Chaque nébuleuse spirale passe donc du stade S_a dans le stade S_b, et du stade S_b dans le stade S_c. Mais il y a un phénomène plus remarquable encore, c'est que le plus fort aplatissement observable chez les nébuleuses elliptiques (classe E_7) est précisément égal au plus faible aplatissement observable chez les nébuleuses spirales (classe S_a); cet aplatissement-limite est de 0,7 environ. L'état de nébuleuse spirale pourrait donc découler de l'état de nébuleuse elliptique à un moment déterminé de la vie de chaque univers, le changement d'état s'opérant d'une manière relativement rapide. Les avis étant partagés sur l'existence de cette filiation, nous allons exposer quelques arguments d'ordre dynamique qui nous semblent militer en sa faveur, en restant toujours dans le cadre de la loi d'attraction de Newton :

1° L'aplatissement critique, au delà duquel la figure de nébuleuse elliptique cesse d'exister, jouit de la propriété caractéristique suivante :

c'est l'aplatissement pour lequel le déplacement des nœuds d'une orbite stellaire sur le plan équatorial de la nébuleuse, d'une révolution à la suivante, est égal au déplacement des apsides de cette même orbite lorsque son inclinaison sur l'équateur est une quantité du premier ordre de petitesse.

2° Considérons alors un groupement d'étoiles voisines entre elles à une époque donnée (comme le sont, par exemple, les étoiles les plus proches du Soleil), et dont les constantes des forces vives, ainsi que les constantes des aires, sont approximativement les mêmes. Si l'aplatissement de la nébuleuse elliptique a atteint sa valeur critique, un tel groupement d'étoiles, au voisinage du plan de l'équateur, doit se retrouver dans la même configuration lorsque la longitude prend certaines valeurs équidistantes entre elles, et cela introduit une inégalité périodique dans le potentiel qui régit le mouvement individuel d'une étoile du groupe, alors que, pour tout autre aplatissement de la nébuleuse inférieur à l'aplatissement critique, il y a compensation, dans le temps, entre les inégalités d'attraction des étoiles voisines.

3° Le résultat de cette inégalité périodique, qui peut d'ailleurs être renforcée par certaines combinaisons des constantes des forces vives et des aires mettant en jeu d'autres étoiles, est que des termes linéaires s'ajoutent aux coefficients de la solution de l'équation différentielle donnant la latitude. Des résonances se produisent dans toute la région équatoriale de la nébuleuse et la répartition des masses se trouve détruite. Une nouvelle structure s'établit.

4° Une expansion se produit nécessairement à ce moment-là dans le plan équatorial, car les perturbations sur les bords du sphéroïde ont pour effet de dévier les étoiles sur des orbites spirales asymptotiques (courbes étudiées par Lindblad). Ces courbes peuvent former deux faisceaux issus de deux régions diamétralement opposées, et l'on a la figure ordinaire des nébuleuses spirales, où les branches se développent aux dépens du noyau dans la suite de l'évolution. Le calcul indique que pour un noyau suffisamment réduit la spirale logarithmique est la seule courbe géométrique d'allure simple qui puisse être l'aboutissement de la figure apparente des branches. Effectivement les nébuleuses S_c sont assez bien représentées par des systèmes de spirales logarithmiques autour d'un petit noyau sphérique.

5° La question la plus délicate est celle des deux points préférentiels par où la matière s'échappe du noyau. Remarquons que l'expansion en spirale ne peut s'effectuer sans perte d'énergie, à cause des collisions inélastiques

entre les particules interstellaires ou entre ces particules et les étoiles. Dans ce *brassage* du nuage cosmique, la perte d'énergie sera minima si le nombre de points d'éjection est minimum, et comme un seul point d'éjection est incompatible avec la fixité du centre de gravité, c'est avec deux points d'éjection diamétralement opposés que sera vérifié le principe de la moindre dissipation d'énergie.

Une théorie des nébuleuses spirales a été édifiée par nous d'après les idées que nous venons de résumer : un certain nombre d'exemples servent d'appui à cette théorie.

PHYSIQUE. — *Comment les coefficients du développement de Fourier peuvent conduire à la meilleure formulation d'une loi expérimentale.* Note de M. **Pierre Vernotte**, présentée par M. Aimé Cotton.

Nous avons montré [1] comment le développement du type trigonométrique résolvait, d'une manière sans doute pénible et *inélégante*, le problème de la *meilleure* formulation d'une loi expérimentale. Mais, ce développement étant très vite *limité* par l'imprécision expérimentale, et la convergence en étant très *lente*, l'approximation obtenue serait, de loin, insuffisante. Nous allons voir qu'on peut, heureusement, en déduire d'autres représentations ayant la *précision nécessaire*, et qui présenteront, d'elles-mêmes, les mêmes qualités.

I. A cet effet, en nous appuyant sur des formules classiques, nous identifierons *les premiers* termes du développement trigonométrique, *seuls* connus avec une précision suffisante, avec les termes correspondants du développement trigonométrique de *certaines expressions analytiques*; et, de l'identité *des premiers termes* nous déduirons (c'est notre hypothèse; elle se justifie par le nombre, relativement *important*, des données prises en considération : 8, dans l'exemple que nous avons numériquement traité; et l'on fait, du reste, une hypothèse *identique* dans tout emploi de développement limité) l'identité *des deux développements*, et, par suite, la représentation de la fonction expérimentale par lesdites expressions analytiques.

L'intervalle expérimental étant amené, par dilatation des abscisses, à être $(0, 2\pi)$, nous obtiendrons des développements pratiques en représentant, en fonction de n, les coefficients A_n et B_n de $\sin nx$ et $\cos nx$; par

(1) *Comptes rendus*, 213, 1941, p. 777.

diverses formules. Posons

$$(1)\qquad A_n = C_1 n^{-1} + C_3 n^{-3} + \ldots + C_{2i+1} n^{-2i-1}; \qquad B_n = C_2 n^{-2} + C_4 n^{-4} + \ldots + C_{2i} n^{-2i}.$$

a. La fonction $f(x)$, qui se serait développée en

$$f(x) \equiv B_0 + A_1 \sin x + B_1 \cos x + A_2 \sin 2x + B_2 \cos 2x + \ldots,$$

prend la forme

$$(2)\qquad B_0 + C_1\left(\frac{\pi}{2} - \frac{x}{2}\right) + C_2\left(\frac{\pi^2}{6} - \frac{\pi x}{2} + \frac{x^2}{4}\right) + C_3\left(\frac{\pi^2}{6}x - \frac{\pi x^2}{4} + \frac{x^3}{12}\right) + C_4\left(\frac{\pi^4}{90} - \frac{\pi^2 x^2}{12} + \frac{\pi x^3}{12} - \frac{x^4}{48}\right) + \ldots.$$

b. Représentons, au contraire, A_n et B_n par des fractions rationnelles, du genre de celles que nous avons proposées pour la formulation des lois expérimentales, soit, par exemple,

$$(3)\qquad A_n = n(pn^2 + q)(n^2 + a^2)^{-2}; \qquad B_n = (cn^2 + d)(n^2 + a^2)^{-2};$$

$f(x)$ apparaît sous une forme que l'on *sait* exprimer en termes finis, mais *trop compliquée* pour que nous la rapportions ici : $f(x)$ se compose d'une expression linéaire, à laquelle s'ajoutent deux expressions linéaires multipliant un terme en sinus hyperbolique, et un terme en cosinus hyperbolique.

II. Mais le problème *n'est pas encore* résolu, parce que les formules représentatives approchées (1) et (3) ne conviennent pas, en général, dès $n = 1$, *surtout la première*, les C pouvant croître avec l'indice. Nous ne les appliquerons donc qu'à partir de $n = 2$ (par exemple), et nous conserverons, dans le développement finalement adopté pour $f(x)$, un terme en $\sin x$ et un terme en $\cos x$, dont les coefficients seront

$$\left(A_1 - \sum_1^{2i+1} C\right) \quad \text{et} \quad \left(B_1 - \sum_2^{2i} C\right).$$

En particulier, le développement (2) ne prendra la forme d'un polynome que si l'on développe, en série entière limitée, les termes conservés en $\sin x$ et $\cos x$, ce qui n'est acceptable, les développements devant être encore valables pour $x = 2\pi$, que si on les pousse jusqu'à des puissances *élevées*. Et ce serait pour cette raison profonde qu'*un développement entier représente si difficilement une fonction expérimentale*.

III. Nous avons appliqué ces diverses considérations à une expérience

sur la convection de M. Jules Fleury (courbe de température admettant un maximum, un point d'inflexion et une asymptote horizontale). La conduite des calculs a montré qu'il fallait limiter les développements (1) à C_1, C_3, C_5, d'une part, C_2 et C_4, d'autre part, et ne pas utiliser les B au delà de B_3, et qu'au lieu de pousser jusqu'à A_4 pour avoir les trois équations déterminant C_1, C_3, C_5, il valait mieux déterminer séparément C_1 par le fait que, dans le développement (2), seule l'expression multipliée par C_1 prend des valeurs différentes (variation égale à $-\pi$) quand x passe de 0 à 2π. Dans le cas du développement b, p est égal au coefficient C_1 précédent; a^2, q, puis c et d sont donnés par A_2, A_3, B_2, B_3.

Les développements a et b ont été trouvés exactement équivalents. Ils comportent 8 paramètres, et nous les prendrons indifféremment pour définir, en principe, la meilleure formulation.

PHYSIQUE. — *Recherches sur la densité du graphite et détermination du coefficient moyen de compressibilité entre 1 et 20000 kg/cm².* Note de M. **James Basset**, présentée par M. Albert Caquot.

Les chiffres donnés par divers auteurs pour la densité du graphite sont assez variables.

Les différences constatées proviennent de la difficulté d'obtenir une masse de graphite pure et homogène, sans vacuoles entre macles, et privée de gaz occlus ou absorbés, avec laquelle on puisse faire une mesure correcte de la densité du corps normalement cristallisé.

Les échantillons de graphite naturel le plus pur renferment toujours une proportion d'impuretés de 0,5 à 1 %, influant peu sur la mesure de la densité; par contre la structure macroscopique des blocs de graphite présente toujours des macles tourmentées, l'assemblage cristallin des échantillons et la présence des vacuoles et de gaz absorbés en plus ou moins grande quantité dépendant des conditions de formation de l'échantillon considéré.

Dans un même bloc, il est fréquent de trouver des densités différentes pour des échantillons voisins.

Toute tentative d'homogénéisation par pulvérisation et traitements quelconques d'épuration n'ont pour effet, en raison de l'affinité absorbante du graphite, que d'apporter des éléments perturbateurs nouveaux dans les mesures faites sur les parcelles épurées.

Moissan a trouvé des densités ([1]) s'échelonnant entre 2,17 et 2,35; Le Chatelier trouve 2,25 pour divers échantillons comprimés à 5000 kg/cm² ([2]).

J'ai cherché quelle était la densité d'échantillons de graphite très purs soumis à une compression mécanique suffisante pour écraser les assemblages cristallins maclés et réduire le volume des gaz, éventuellement occlus à une valeur négligeable.

Les échantillons sont préparés par taillage dans un bloc ou agglomération préalable sous 20000 kg/cm² des morceaux sélectionnés ou de la poudre.

Les échantillons sont ajustés dans un pot de presse cylindrique de 8^{mm} de diamètre qu'ils remplissent sur 40^{mm} de hauteur, et ils sont comprimés directement entre deux pistons étanches. Des verniers donnent à chaque instant la longueur du cylindre de graphite comprimé à 1/20e de millimètre près. Dans le calcul du volume occupé les corrections nécessaires sont apportées pour tenir compte des déformations élastiques de tout l'ensemble expérimental.

Connaissant le poids de l'échantillon essayé, la densité est connue à chaque pression à 0,2 % près environ.

Chaque échantillon subit les préparations suivantes :

Mesure de la densité apparente à l'état naturel;
Première compression à 20000 kg/cm²;
Dégazage du bloc brut obtenu à 2100° au four à induction dans le vide ([3]);
Deuxième compression à 20000 kg/cm² suivie d'un second dégazage;
Troisième compression à 20000 kg/cm² et ajustage du bloc pour l'essai.

Densités observées.

Pression (kg/cm²)...	État naturel.	1.	5000.	10000.	15000.	20000.
I...........	2,180	2,260	2,314	2,352	2,385	2,410
II..........	2,150	2,190	2,258	2,302	2,341	2,375
III.........		2,070	2,180	2,252	2,295	2,330

I. Echantillon monobloc prélevé dans un morceau de graphite de Sibérie très pur (0,5 à 1 % d'impuretés).

([1]) Moissan, *Comptes rendus*, **123**, 1896, p. 206, et *Ann. de Chim. Phys.*, **8**, 1896, p. 466.

([2]) Le Chatelier et Vologdine, *Comptes rendus*, **146**, 1908, p. 49.

([3]) Effectué au Laboratoire de M. le Professeur Ribaud.

II. Échantillon obtenu par compression de morceaux de graphite de Ceylan très pur (1,05 % d'impuretés).

III. Échantillon obtenu par compression de graphite synthétique Achéson (poudre passant au tamis 200).

Si l'on trace de 1000 en 1000^{kg} la courbe de compressibilité de l'échantillon le plus complet n° I, on voit qu'il doit contenir encore des traces de gaz occlus, l'intrapolation de la partie supérieure de la courbe au delà de 6000 kg/cm^2 montrant que le point origine de la courbe à la pression atmosphérique devrait se trouver à une densité vraie de l'ordre de 2,275 pour cet échantillon.

Trois compressions sous 20000 kg/cm^2 et les deux dégazages effectués ne permettent donc pas d'atteindre une parfaite homogénéité et de fixer avec certitude la densité vraie d'un graphite donné à la pression atmosphérique.

Coefficient moyen de compressibilité $[\mu = (V - V')/V(P' - P)]$. — Ces recherches ont permis de déterminer le coefficient moyen de compressibilité du graphite de 5000 en 5000 kg jusqu'à 20 000 kg/cm^2 à la température de 18°.

P et P′ (kg/cm²)	1 à 5 000.	5 000 à 10 000.	10 000 à 15 000.	15 000 à 20 000.
$\mu \times 10^6$	4,41	3,27	2,50	1,90

(chiffres déterminés sur l'échantillon le plus compact et le plus homogène n° I).

A titre indicatif, pour le mercure, ce coefficient, entre 1 et 50 kg/cm^2, est de 3,92 (Amagat, 1892), celui de l'eau 52,5.

ÉLECTROCHIMIE. — *Activité de l'ion cadmium dans les solutions d'acétate de cadmium.* Note [1] de Mlle **Marguerite Quintin**, présentée par M. Jacques Duclaux.

J'ai montré [2] que les mesures de conductibilité conduisent à penser que l'acétate de cadmium se comporte comme un électrolyte fort, c'est-à-dire qu'il doit être considéré comme entièrement dissocié en solution.

Il est alors possible d'aborder l'étude de l'activité de l'ion Cd^{++} dans les solutions d'acétate de cadmium par la méthode électrométrique.

---

(1) Séance du 1er décembre 1941.

(2) *Comptes rendus*, **212**, 1941, p. 855.

La mesure de la force électromotrice (f. é. m.) de la chaîne

Cd (amalgame 2 phases) | $(CH^3CO^2)^2Cd$, c | KCl sat. | KCl 0,1N | Hg^2Cl^2, Hg

à différentes concentrations c donne, en négligeant le potentiel de jonction entre les deux liquides et en tenant compte du potentiel de l'électrode de référence, le potentiel E de l'amalgame de cadmium dans la solution considérée.

Or

$$E = E_0 - \frac{RT}{2\mathcal{F}} \operatorname{Log} c f_{+}, \tag{1}$$

où f_{+} représente le coefficient d'activité de l'ion Cd^{++} et E_0 le potentiel normal.

La pile est placée dans un thermostat réglé à 25°,0 ± 0,1, sa f. é. m. est mesurée par la méthode d'opposition à 0,0001 volt près; en atmosphère d'azote elle est parfaitement stable pendant plusieurs jours. Tous les produits utilisés sont purifiés soigneusement.

Le tableau ci-dessous résume l'ensemble des résultats expérimentaux obtenus.

c (mol-g/l).....	0,396.	0,100.	0,050.	0,020.	0,010.	0,005.	0,002.	0,001.
E (10^{-4} volt).........	3906	3999	4051	4137	4196	4260	4350	4418
E'_0 (10^{-4} volt).........	3787	3703	3666	3635	3607	3580	3552	3532

Si l'on représente les variations de la quantité

$$E'_0 = E + \frac{RT}{2\mathcal{F}} \operatorname{Log} c \tag{2}$$

en fonction de la racine carrée de la force ionique $6c$, on obtient une courbe dont les points correspondant aux grandes dilutions sont, sauf le dernier, sur une droite de pente très voisine de la valeur satisfaisant à la loi limite de Debye et Hückel. L'extrapolation par la méthode de Lewis donne $E_0 = 3506 \pm 2$ (10^{-4} volt). Mais, étant donné l'incertitude due au dernier point, il est préférable de contrôler cette valeur par la méthode de La Mer. Pour cela le coefficient d'activité f_{+} est calculé par la formule de Gronwall, La Mer et Greiff

$$\operatorname{Log} f_{+} = \frac{-4B\sqrt{6c}}{1 + Aa\sqrt{6c}} - \frac{8}{M}\left(\frac{2B}{Aa}\right)^2\left[\frac{1}{2}X_3 - Y_3\right] + \frac{16}{M^2}\left(\frac{2B}{Aa}\right)^3\left[\frac{1}{2}X_3^* - 2Y_3^*\right] + \frac{48}{M^2}\left(\frac{2B}{Aa}\right)^3\left[\frac{1}{2}X_3 - 2Y_3\right] \tag{3}$$

(où a désigne le rayon de l'ion, X et Y des fonctions connues de $6c$ et de a, et A et B des constantes respectivement égales à 25° à $0{,}2325 \cdot 10^8$ et 0,3582) pour différentes valeurs de a et introduit dans l'expression

$$E_0 = E'_0 - \frac{RT}{2\mathcal{F}} \operatorname{Log} f_{+}. \tag{4}$$

Si l'on construit les courbes représentant les variations de E_0 en fonction de la racine carrée de la force ionique, on obtient, pour $a = 2{,}4$ Å, une bonne constance de E_0 ($3504 \cdot 10^{-4}$ volt) depuis les plus grandes dilutions jusqu'à $c = 0{,}01$ M environ; en tenant compte du potentiel Cd | amalgame Cd, le potentiel normal Cd | Cd^{++} est alors égal à 0,4009 volt.

Ces résultats peuvent être confrontés avec ceux déjà obtenus dans le chlorure de cadmium ([3]) et le benzène sulfonate de cadmium ([4]). Mais par suite d'une erreur numérique sur les termes en 3 de la formule ([3]), les données antérieurement calculées doivent être modifiées de la façon suivante :

dans le chlorure

$$E_0 = 0{,}4013 \text{ volt au lieu de } 0{,}3999;$$

dans le benzène sulfonate

$$E_0 = 0{,}3948 \text{ au lieu de } 0{,}3941$$

(valeur d'ailleurs très incertaine du fait de l'hydrolyse importante de la solution); dans chacun de ces deux sels, a est de l'ordre de 3 Å.

Il y a donc un très bon accord entre les résultats obtenus soit dans l'acétate, soit dans le chlorure de cadmium; par conséquent, il paraît légitime, ainsi que cela a été fait, de négliger le potentiel de jonction.

En résumé les mesures des forces électromotrices montrent que la théorie de Debye et Hückel s'applique aux solutions d'acétate de cadmium, donc que ce sel se comporte comme un électrolyte fort.

RAYONS X. — *La microradiographie par réflexion.* Note ([1]) de M. JEAN-JACQUES TRILLAT, présentée par M. Maurice de Broglie.

Le principe de la microradiographie consiste essentiellement à radiographier un objet hétérogène de très petites dimensions et à agrandir ensuite l'image obtenue; l'idée

([2]) *Comptes rendus*, **202**, 1936, p. 123; *J. Chim. phys.*, **33**, 1936, p. 433.
([3]) *Comptes rendus*, **206**, 1938, p. 902; *J. Chim. phys.*, **35**, 1938, p. 300.

([1]) Séance du 1er décembre 1941.

première en revient à P. Goby (²). Pratiquement, l'objet à examiner est réduit à une épaisseur très faible (de l'ordre de quelques microns ou quelques centièmes de millimètre); la préparation est disposée au contact de l'émulsion photographique et l'ensemble est irradié par des rayons X de longueur d'onde convenablement choisie, la radiographie étant ensuite agrandie.

Cette méthode s'est développée à la suite de la mise dans le commerce d'émulsions du type Lippmann, constituées d'une seule couche extrêmement mince à grains très fins, permettant des agrandissements de l'ordre de 600 (Kodak, Gevaert). Ces émulsions sont environ mille fois moins sensibles aux rayons X que les plaques ou films radiographiques habituels.

L'emploi de ces films spéciaux a permis à A. Dauvillier (³), P. Lamarque (⁴) et F. Fournier (⁵) de faire d'intéressants travaux dans le domaine histologique ou métallurgique. Plus récemment (⁶), j'ai montré les applications que l'on pouvait tirer de cette nouvelle méthode pour l'étude des alliages légers et de certains aciers spéciaux, notamment au point de vue du contrôle des traitements thermiques, du durcissement structural, de la mise en solution solide, et d'une façon générale pour l'élaboration d'alliages nouveaux. Cette méthode, dont le champ est très vaste, est maintenant entrée dans le domaine pratique et complète très utilement la micrographie ordinaire.

En avril 1940 (⁶), j'ai signalé l'intérêt qu'il y aurait à obtenir des microradiographies à partir d'objets terminés, et sans avoir recours au procédé destructif que nécessite la préparation des échantillons; dès maintenant, les résultats des essais que j'ai entrepris dans ce sens paraissent très encourageants.

Le principe de cette méthode *par réflexion* est le suivant : soit une surface plane (de dimension d'ailleurs très petite) d'un objet constitué d'éléments de numéros atomiques nettement différents. Irradiée par des rayons X de longueur d'onde convenable, cette surface devient le siège d'une émission ondulatoire secondaire (diffusion et fluorescence) et d'une émission de photoélectrons, dont l'énergie est fonction du quantum incident et du travail d'extraction des électrons, c'est-à-dire en définitive du numéro atomique.

Le nombre de photoélectrons émis dépend, lui, de l'intensité incidente

---

(²) *Comptes rendus*, **156**, 1913, p. 686; **180**, 1925, p. 735.

(³) *Comptes rendus*, **191**, 1930, p. 1287; *Rapport au IIIᵉ Congrès international de Radiologie*, 1931, p. 229.

(⁴) *Comptes rendus*, **202**, 1937, p. 684; *J. de Radiologie*, **20**, 1936, p. 6; *Union internationale contre le Cancer* (*Acta*, 4, 1939, p. 205).

(⁵) *Revue de Métallurgie*, **35**, 1938, p. 349.

(⁶) *Revue scientifique*, **4**, 1940, p. 212.

et également du numéro atomique. C'est cette émission électronique dont j'ai cherché à utiliser l'action photographique.

Pour y arriver il est nécessaire que l'émulsion sensible, appliquée énergiquement contre la surface à étudier et traversée *d'abord* par les rayons X, ne soit impressionnée *en retour* que par les photoélectrons et non par les rayons X incidents ou simplement diffusés. Il faut donc que l'émulsion présente un très faible coefficient d'absorption par rapport à ces rayons X, et d'autre part qu'elle soit impressionnée suffisamment par les photoélectrons; l'emploi des films spéciaux mentionnés plus haut répond heureusement à ce but, ainsi que j'ai pu le vérifier dans des expériences préliminaires.

L'effet peut être encore renforcé en utilisant des rayons incidents de quantum élevé (tube fonctionnant sous 100 kV ou au-dessus), leur absorption dans l'émulsion se trouvant en effet diminuée du fait de leur pénétration.

C'est ainsi par exemple que, si l'on dispose, dans un support approprié, un film Lippmann au contact d'une surface plane constituée d'anneaux concentriques d'Al et de Pb, le côté extérieur du film (sans émulsion) étant recouvert d'un papier noir, on obtient après développement un noircissement intense au regard du plomb et un noircissement très faible au regard de l'aluminium. De même, avec une plaque d'Al présentant des rainures de faible profondeur, la topographie de la plaque apparaît avec une grande netteté du fait des trajets différents effectués par les photoélectrons.

Des essais effectués avec des alliages de décolletage contenant du plomb montrent, après agrandissement, la présence de globules de ce métal; avec des alliages légers contenant des éléments lourds tels que Mn, la structure cristalline de l'alliage apparaît nettement après agrandissement et permet d'observer la répartition de ces éléments.

La netteté est cependant jusqu'ici moins grande que par le procédé habituel par transmission (microradiographie ordinaire) [6]. Les temps de pose sont également assez considérables (de l'ordre de une heure pour un tube fonctionnant sous 180 kV, 3 mA, distance foyer-film 40^{cm}); toutefois il est permis d'espérer que moyennant certaines améliorations actuellement à l'étude, les temps de pose et la netteté seront considérablement améliorés. Bien entendu, le contact film Lippmann-surface doit être parfait; ceci est possible du fait de la petite dimension de la surface étudiée (quelques millimètres carrés).

Le grand avantage de la méthode par réflexion consiste en ce qu'elle ne nécessite pas la préparation de coupes. Elle peut s'appliquer d'ailleurs remarquablement bien à la *macroradiographie*, ainsi que nous l'avons vérifié et comme nous le montrerons dans une prochaine Note; elle permet donc d'étudier d'une façon détaillée la stucture des diverses régions d'un objet terminé, sous la réserve que celui-ci comporte des éléments de numéros atomiques nettement différents; elle ouvre de ce fait des perspectives intéressantes dans le domaine de la métallurgie.

CHIMIE PHYSIQUE. — *Sur la formation de complexes tungstotartriques.* Note de Mlles **Marguerite Cordier** et **Marcelle Murgier**, présentée par M. Louis de Broglie.

Nous avons précédemment exposé ([1]) les résultats de nos mesures sur les mélanges des acides tartrique et métatungstique. Pour caractériser le composé droit qui semblait se former, nous avons fait des expériences en partant directement de l'acide tungstique, ou plutôt du tungstate neutre de sodium; ces expériences ont été de deux sortes. Tout d'abord à des mélanges d'acide tartrique et de tungstate de sodium de proportions déterminées on a ajouté des quantités croissantes d'acide chlorhydrique jusqu'à la demi-neutralisation du sel, et l'on a mesuré le pouvoir rotatoire de ces solutions sous 20cm. Plusieurs proportions d'acide tartrique et de tungstate de sodium ont été utilisées; seules ont donné un résultat intéressant celles pour lesquelles le rapport Wo^3/TH^2 était égal ou supérieur à 1. Pour celles-ci, le pouvoir rotatoire droit est beaucoup plus grand que celui de l'acide tartrique, au moins 15 fois et jusqu'à 30 fois. Toutes ces solutions présentent une mutarotation dont l'importance croît avec la concentration en acide chlorhydrique; elle est négative et peut atteindre après plusieurs semaines 3° pour une rotation initiale de 23°. La dispersion a pour valeur moyenne 2,05, alors que celle de l'acide tartrique utilisé est 1,18, ce qui indique bien la formation d'un complexe. Le pouvoir rotatoire croît avec la concentration en acide chlorhydrique jusqu'à atteindre un maximum dont la position dépend de la constitution

---

([1]) *Comptes rendus*, **213**, 1941, p. 729.

de la solution initiale; les solutions correspondant aux maxima sont :

Wo^3/TH^2........	1.	3/2.	2.
Fraction de la demi-neutralisation.......	0,5	0,8	1

Ces résultats semblent indiquer la formation d'un complexe de formule $[Wo^3T]Na^2$.

La deuxième étude a été faite suivant la méthode des variations continues; on a préparé trois solutions, Wo^4Na^2, M/10; HCl, M/5; TH^2, M/20, et l'on a mélangé ces solutions respectivement dans les proportions x^{cm^3}, x^{cm^3}, $(20-2x)$ cm³, x variant de 0 à 10; la courbe des écarts du pouvoir rotatoire de ces solutions avec le pouvoir rotatoire de l'acide tartrique seul donne un maximum très accusé pour $x=5$, c'est-à-dire pour la proportion $Wo^3/TH^2=1$. Il était intéressant, alors qu'on avait déterminé la constitution de l'anion complexe, d'étudier sa neutralisation; dans ce but le mélange correspondant au maximum a été systématiquement additionné de quantités croissantes de soude jusqu'à la neutralisation totale; le pouvoir rotatoire de ces nouvelles solutions varie beaucoup avec la concentration en soude; il augmente d'abord, puis diminue rapidement; la courbe a un maximum très aigu correspondant à la formation du complexe $[Wo^3T]Na^2$ dont l'existence est ainsi nettement montrée.

CHIMIE MINÉRALE. — *Altération du cuivre par les acides gras.* Note de M. **René Dubrisay**, présentée par M. Marcel Delépine.

J'ai exposé les résultats obtenus dans l'étude de la corrosion des métaux par les acides gras dissous dans les liquides organiques ([1]). J'avais en particulier signalé qu'une lame de cuivre plongeant entièrement dans de l'eau surmontée d'une couche de benzène, de toluène ou de xylène tenant en solution de l'acide stéarique ou palmitique donnait lieu à un phénomène de corrosion se manifestant par l'apparition de sel cuivrique, vert et insoluble, à la surface de séparation des deux liquides. Ce fait surprenant *a priori*, puisqu'il n'y a aucun contact entre l'acide, insoluble dans l'eau, et le métal qui y plonge, peut s'interpréter en admettant qu'il se forme,

---

([1]) *Comptes rendus*, **207**, 1938, p. 1101; **210**, 1940, p. 533.

par action simultanée de l'eau et des agents atmosphériques, un composé cuivrique qui n'est pas absolument insoluble dans l'eau et vient réagir sur l'acide gras dissous dans le liquide organique. Il m'a semblé utile de justifier cette interprétation et d'analyser la marche du phénomène.

I. J'avais montré que la corrosion n'avait lieu qu'en présence d'oxygène. Par contre la présence du gaz carbonique n'est pas indispensable. Soit à froid, soit à chaud, l'attaque se produit même dans des atmosphères parfaitement débarrassées de gaz carbonique, ce gaz ayant toutefois pour effet d'accélérer le phénomène (2).

La composition du sel cuivrique formé correspond d'ailleurs, dans le cas de l'acide stéarique, au stéarate neutre (3).

II. Ayant placé des tortillons de fil de cuivre électrolytique dans 20^{cm^3} de diverses solutions tampons (solutions acide acétique-acétate de sodium ou borax-acide chlorhydrique), j'ai recherché l'apparition de la réaction des ions cuivriques dans la solution. Cette apparition se manifestait au bout de temps variables, ainsi qu'il ressort du tableau ci-dessous (4).

pH.....	4,47.	4,66.	4,90.	5,28.	6,95.	7,33.	7,72.	7,80.	8,15.	8,28.	11,75.
N_1............	18	18	18	22	22	–	–	–	–	–	–
N_2..........	20	20	20	24	24	–	–	–	–	–	–

N_1, nombre de jours nécessaires pour l'apparition de la réaction à l'acide rubéanique.
N_2, nombre de jours nécessaires pour l'apparition de la réaction au mercurisulfocyanure d'ammonium.

La production d'ions cuivriques en milieu neutre ou acide est donc manifeste, et plus rapide dans les milieux plus acides. L'absence de réaction dans les milieux alcalins ne prouve pas nécessairement l'absence

(2) Il en est de même d'ailleurs pour l'attaque du cuivre par l'eau. Voir Bengough et Hudson, *J. Ind. Met.*, 21, 1919, p. 87, et plus loin action de l'acidité du milieu.

(3) Le stéarate de cuivre est insoluble à froid, mais soluble à chaud dans les carbures aromatiques. On peut donc le séparer de l'excès d'acide; l'analyse conduit alors aux résultats suivants :

	g	g
Poids de produit........................	0,1500	0,1905
Acide stéarique correspondant calculé....	0,1354	0,1720
» » trouvé.....	0,1370	0,1740
Cuivre calculé..........................	0,0150	0,0190
» trouvé..............................	0,0147	0,0186

(4) La sensibilité des réactifs est de $0^{mg},001$ pour l'acide rubéanique et de $0^{mg},003$ par centimètre cube pour le mercurisulfocyanure.

d'attaque (d'autant que le métal est terni dans ces milieux), mais peut être interprétée par une diminution de solubilité d'un hydroxyde cuivrique par la présence d'ions OH.

III. Les expériences décrites au paragraphe II ont été répétées, mais en surmontant la couche aqueuse de 2^{cm^3} d'une solution de 0,5 % d'acide palmitique ou stéarique dans le xylène. On a indiqué dans le tableau ci-dessous le nombre de jours au bout duquel la coloration verte du savon cuivrique apparaît à la surface de séparation des deux liquides.

pH.....	4,47.	4,66.	4,90.	5,28.	6,95.	7,33.	7,72.	7,80.	8,15.	8,28.	11,75.
N_1............	39	39	32	15	3	3	3	6	6	6	–
N_2............	36	32	32	15	3	3	3	6	6	6	–

N_1, nombre de jours nécessaires à l'apparition du sel cuivrique dans le cas de l'acide stéarique. N_2, dans le cas de l'acide palmitique.

La formation de savon cuivrique se manifeste donc d'abord dans les milieux neutres ou très faiblement alcalins, puis dans les milieux plus acides. Dans ces derniers, le phénomène est compliqué du fait de la décomposition de stéarate ou palmitate cuivrique par l'acidité du milieu aqueux, ce qui explique que dans les milieux de pH 4,47 et 4,66 la formation du palmitate précède celle du stéarate [5].

Les indications portées dans le tableau ci-dessus ont été complétées par la recherche qualitative du cuivre existant dans la phase aqueuse sous la couche xylénique. La coloration à l'acide rubéanique apparaissait au bout de 15 jours dans les solutions dont les pH varient de 4,47 à 5,28 et au bout de 21 jours dans le tampon 6,95. A cette date, la coloration bleue de l'eau céleste se manifestait même par addition d'ammoniaque, ce qui revient à dire que la concentration en ions cuivriques était au minimum de $0^{mg},5$ par centimètre cube au lieu de $0^{mg},003$ dans les expériences faites en l'absence d'acides gras et décrites au paragraphe I.

Ceci peut s'expliquer par le fait qu'intervient ici non plus seulement la solubilité d'un hydroxyde cuivrique, mais aussi celle du palmitate ou du stéarate.

([5]) Au bout de 57 jours, en recueillant le mélange d'acide gras et de savon cuivrique existant au-dessus des tampons de pH 4,66 et en y dosant le cuivre par colorimétrie, on en trouvait 2^{mm} dans le cas de l'acide palmitique, et moins de 1^{mg} avec l'acide stéarique.

CHIMIE MINÉRALE. — *Action du chlore sur les oxydes métalliques anhydres à la température ordinaire.* Note [1] de M. **Paul Pierron**, présentée par M. Marcel Delépine.

L'attaque des oxydes métalliques anhydres par le chlore exige un broyage continu pendant toute sa durée. Elle est très lente et dure plusieurs semaines, sauf s'il s'agit d'oxyde mercurique ou d'argent, pour lesquels elle est au contraire très rapide.

L'appareil est constitué par un tube de verre à fond rond de 10^{cm} de longueur, dans lequel on place 2 ou 3^g de l'oxyde à traiter, et deux petits agitateurs de 3 ou 4^{cm} de longueur, qui serviront de pilons; l'ensemble est mis en communication avec une source de chlore sec et monté sur une machine à agiter, de bas en haut.

Au bout de 23 jours, l'oxyde de sodium et l'oxyde de lithium ont fixé 50% de la quantité théorique de chlore; dans les autres cas (oxydes alcalino-terreux, oxyde de zinc, de cadmium), cette proportion est de l'ordre de 10 à 20%.

Les oxydes d'argent et de mercure réagissent cependant en deux ou trois heures complètement.

Le mélange obtenu contient le chlorure et parfois des corps oxydants qui sont le chlorate, l'hypochlorite, le peroxyde de chlore.

Le pouvoir oxydant total est toujours inférieur à celui qui correspondrait à celui du chlore fixé. Dans le cas de l'attaque de l'oxyde de sodium, il est dû par moitié à du peroxyde et par moitié à du chlorate (avec des traces d'hypochlorite). Avec l'oxyde de baryum, il est exclusivement dû à du peroxyde et sa valeur est inférieure de 80 % à celle qui correspond au chlore fixé. Avec tous les autres oxydes, ce pouvoir oxydant est nul et l'on n'obtient que du chlorure.

L'étude de l'atmosphère gazeuse ayant servi à l'attaque, a révélé la présence d'anhydride hypochloreux dans deux cas : celui de l'oxyde mercurique et celui de l'oxyde de cadmium. Avec le premier, l'anhydride se dégage rapidement, en quelques minutes, apparition nettement marquée par la couleur orange de l'atmosphère gazeuse de réaction qui disparaît au bout d'une heure ou deux de contact avec les produits solides

---

[1] Séance du 1er décembre 1941.

obtenus. Avec le second, l'anhydride hypochloreux obtenu peut rester plusieurs mois au contact des produits de l'attaque, sans être altéré.

Or une étude (²) relative à l'action de l'anhydride hypochloreux et du chlore sur les hypochlorites solides a démontré :

1° que les hypochlorites se transformaient en chlorate en présence de l'anhydride hypochloreux, d'après la réaction

$$\mathrm{MeO, Cl^2O + 4Cl^2O = MeO, Cl^2O^5 + 4Cl^2},$$

et que cette réaction, facile avec le sel de sodium, devenait de plus en plus lente quand on passait au sel de baryum, puis de strontium, de lithium et de calcium;

2° que le chlore transformait catalytiquement en chlorate l'hypochlorite de sodium, d'après la réaction

$$\begin{array}{lcl} \mathrm{4MeO, Cl^2O + Cl^2} & = & \mathrm{4MeO, Cl^2 + 2ClO^2} \\ \mathrm{MeO, Cl^2O + 4Cl^2O} & = & \mathrm{MeO, Cl^2O^5 + 4Cl^2} \\ \mathrm{4MeO, Cl^2} & = & \mathrm{2MeO, Cl^2O + 2MeCl^2} \\ \hline \mathrm{3MeO, Cl^2O} & = & \mathrm{MeO, Cl^2O^5 + 2MeCl^2} \end{array}$$

qu'il transformait l'hypochlorite de calcium en chlorure; qu'il donnait, avec les hypochlorites des autres oxydes alcalins ou alcalinoterreux, les deux réactions en même temps, et dans un rapport proportionnel à la basicité de l'oxyde correspondant.

3° Que l'anhydride hypochloreux à l'état naissant peut réagir sur les hypochlorites en donnant du peroxyde, quand ceux-ci sont assez exothermiques (K^2O^2, Na^2O^2, BaO^2).

Or ces faits expliquent parfaitement les résultats expérimentaux qui sont rapportés dans cette Note, si l'on admet que le premier stade de l'attaque est la réaction

$$\mathrm{2MeO + 2Cl^2 = MeO, Cl^2O + MeCl^2}.$$

La possibilité de formation du peroxyde au détriment de l'anhydride hypochloreux explique l'absence, presque générale, de ce gaz dans l'atmosphère de réaction. Comme les peroxydes réagissent sur les hypochlorites en dégageant de l'oxygène, cela explique que leur existence n'a souvent été que transitoire.

(²) P. Pierron, Communication à la *Société chimique de France*, section de Lyon, en mars 1941, actuellement sous presse au *Bulletin*.

CHIMIE ORGANIQUE. — *Influence de la formation d'anhydride ou de lactone sur le pouvoir rotatoire des diacides ou des acides-alcools dérivés du camphre droit.* Note de M. **Jean Vène**, présentée par M. Marcel Delépine.

Nous avions fait la remarque [1] que toutes les β-campholides monosubstituées, de formule générale (I), (R pouvant être C^nH^{2n-1}, C^6H^5,

```
CH²——CH——CO          CH²——CH——COOH
|     |      \        |     |
| H³C—C—CH³   O       | H³C—C—CH³
|     |      /        |     |
CH²——C——CH—R          CH²——C——CHOH—R
      |                     |
     CH³                   CH³
     (I)                   (II)
```

$CH^2.C^6H^5$, COOH, CN, $CONH^2$) et dérivant du camphre droit, possédaient un pouvoir rotatoire négatif, tandis que les acides-alcools (II), qui dérivent de ces campholides par addition d'une molécule d'eau ouvrant le cycle lactonique, possédaient un pouvoir rotatoire positif.

Nous avons depuis préparé de nouveaux corps de ces types, auxquels cette remarque peut également être appliquée. Nous avons alors cherché à savoir si cette influence de la cyclisation par formation de lactone (entre fonctions acide et alcool) ou d'anhydride (entre fonctions acides) était générale.

Nos investigations, consistant en une comparaison systématique des pouvoirs rotatoires actuellement connus de tous les composés appartenant à ces types (au nombre d'environ quarante), nous ont conduit à la règle suivante :

Le pouvoir rotatoire d'une lactone ou d'un anhydride à noyau camphocéane [2], *substitué ou non par des éléments halogènes et issu du camphre droit, est inférieur en valeur algébrique à celui de l'acide-alcool ou du diacide dont il dérive.* Nous n'avons pas trouvé d'exception à cette règle.

Pratiquement, les lactones (campholides) et les anhydrides ont un pouvoir rotatoire négatif, tandis que les acides-alcools et les diacides correspondants ont un pouvoir rotatoire positif; la seule exception est celle

---

(1) *Ann. de Chimie*, 11e série, 10, 1938, p. 274.

(2) Adoptant la proposition de Bredt, nous appelons *camphocéane* le noyau C^8H^{14} dérivant du triméthyl-1.2.2 cyclopentane figurant dans la formule du camphre.

de la β-campholide non substituée, dont le pouvoir rotatoire est positif; il est toutefois, conformément à la règle ci-dessus exprimée, nettement inférieur à celui de l'acide β-hydroxy-β-campholique dont elle dérive,

Le tableau comparatif d'ensemble de ces pouvoirs rotatoires sera publié ailleurs. Nous indiquerons seulement ici que la différence entre les pouvoirs rotatoires des acides-alcools ou des diacides d'une part et ceux des campholides ou des anhydrides correspondants d'autre part est, dans la plupart des cas, de l'ordre de 100°.

GÉOLOGIE. — *Sur la structure de la partie nord-ouest du massif du Pelvoux.* Note (¹) de M. **Pierre Bellair**, présentée par M. Charles Jacob.

La feuille de Briançon au 80000ᵉ (²) porte mention de petits synclinaux de Lias et de Trias, disséminés dans le massif cristallin du Pelvoux, sous la forme d'amandes ou d'enclaves de dimensions parfois très restreintes (col de la Lauze, Champhorent, brèche de Valsenestre, Rif du Sap).

Un seul de ces synclinaux a des dimensions beaucoup plus considérables : c'est celui qui, du Freney d'Oisans, va jusqu'à Villard Loubière, en passant par Venosc, le col de la Muselle et la Désert en Valjouffrey. Son importance tectonique est également beaucoup plus grande : il sépare deux unités tectoniques distinctes, la prolongation des Grandes Rousses d'une part, le massif du Pelvoux *s. s.* d'autre part, et aussi deux ensembles pétrographiques différents. La première unité est caractérisée par des amas abondants de roches syénitiques et des bancs quartziteux qui ne semblent pas exister dans le massif du Pelvoux proprement dit, où les enclaves sont plutôt monzonitiques.

Parmi les amandes synclinales, deux sont totalement isolées dans l'intérieur du massif : celle du col de la Lauze, et celle de Champhorent. Elles jalonnent deux anciens synclinaux dont la continuité a été détruite par l'érosion. Celle-ci peut cependant se rétablir grâce à des considérations d'ordre pétrographique.

I. Le synclinal de la Lauze montre une prolongation évidente dans le massif Plaret-Rouget. Dans cette zone, la carte note un chapeau de schistes cristallins occupant

(¹) Séance du 1ᵉʳ décembre 1941.

(²) Deuxième édition, 1933. Les contours de la première édition, dus à M. P. Termier, ont été conservés pour la partie qui nous intéresse ici.

sensiblement la ligne faîtière d'abord N-S, puis NW-SE de la Gandolière à la Tête du Rouget. Or l'examen détaillé de cette bande de gneiss montre deux particularités importantes :

a. La terminaison méridionale présente l'aspect, non d'un chapeau, mais d'un coin très aigu, se terminant en pointe dans la face sud-ouest du Rouget.

b. En bien des points (Roche Blanche, Pic Gény, Rouget), le contact granite-schistes cristallins est brutal, sans terme de passage. D'un gneiss franc à patine rouge, on passe brusquement à un granite très leucocrate à aspect d'anatexite et, au contact, les roches sont fréquemment écrasées (sommet du Rouget, Plaret).

L'axe de ce coin schisteux est exactement dans le prolongement du synclinal de la Lauze. Il est également dans le prolongement de la vallée du Vénéon en amont de la Bérarde. Plus au Sud la trace de ce synclinal se perd dans la zone fortement écrasée bien visible dans l'arête qui sépare les glaciers de la Pilatte et du Sélé.

En définitive, le synclinal de la Lauze a une importance beaucoup plus grande que ne le laisse supposer la carte, et l'on en suit les racines sur de nombreux kilomètres, où il détermine le tracé de la haute vallée du Vénéon.

2. Le synclinal de Champhorent (nom que j'adopte, faute d'une indication locale plus précise) est de dimensions encore plus restreintes. Lié à une faille, avec zone de broyage bien visible sur la route de la Bérarde au voisinage du hameau de Champhorent, il amène en ce lieu gneiss et granite en contact direct. La faille se prolonge loin vers le Sud sur le versant droit de la vallée de la Lavey. Vers le Nord, cette dislocation se rattache sans doute au système des coins synclinaux de Jandri. La direction est sensiblement N-S.

Ainsi, dans la partie nord du massif du Pelvoux, apparaît nettement une découpure du massif cristallin en fragments, séparés originellement par des paquets de sédimentaire, dont il ne reste à l'heure actuelle que des témoins insignifiants. Le pendage des lignes de fractures est d'autant plus voisin de la verticale que l'on est plus près du fond du coin synclinal; par suite, dans les abaissements d'axe, on observe invariablement un déversement vers l'Ouest pouvant aller jusqu'au chevauchement.

La signification tectonique de ces lignes de fracture dépasse leur intérêt cartographique. Il ne faut pas les considérer comme des failles simples, mais comme de véritables plans de chevauchement. L'érosion a détruit la quasi-totalité des écailles que ces plans séparaient pour ne laisser subsister que leurs racines subverticales, souvent à peine discernables en raison de la similitude des formations pétrographiques.

CHIMIE BIOLOGIQUE. — *Présence de tocophérol dans l'huile de ricin. Titre de l'huile en cette vitamine.* Note de M. **Jean Langlois**, présentée par M. Maurice Javillier.

M. Furter et R. E. Meyer ont trouvé que le tocophérol (vitamine E) donne avec l'acide nitrique fumant une coloration rouge. Ayant observé que l'huile de ricin donne avec ce réactif une coloration rose (1), ils ont attribué cette coloration à la présence d'une certaine quantité de vitamine E dans cette huile.

Au cours de recherches sur les huiles végétales, j'ai observé de mon côté que le réactif d'oxydation quantitative du tocophérol décrit par P. Meunier et A. Vinet (2) (ferricyanure ferrique en solution alcoolo-chloroformique) fournit instantanément une coloration bleue avec quelques gouttes d'huile de ricin. En raison de la solubilité de cette huile dans l'alcool, il est possible de faire directement un dosage colorimétrique. La réduction est achevée en 15 secondes. Le pouvoir réducteur de diverses huiles de ricin commerciales ou préparées au laboratoire est, exprimé en tocophérol, de 0,8 à 1,1 ‰.

Ce pouvoir réducteur se concentre dans la fraction de l'huile soluble dans l'éther de pétrole froid. 50^g d'huile sont dissous dans 250^{cm^3} d'éther de pétrole bouillant; la solution portée à la glacière se sépare en deux phases; la phase éthéropétrolique évaporée laisse $3^g,28$ d'huile, dont le pouvoir réducteur est 4,75 fois celui de l'huile initiale.

La fraction non stérolique de l'insaponifiable est bien plus réductrice encore. 100^g d'huile de ricin sont saponifiés au bain-marie bouillant par la potasse méthylique pendant 20 minutes; l'insaponifiable est extrait à l'éther, l'éther distillé, le résidu repris par 50^{cm^3} d'éther de pétrole bouillant; la solution maintenue une nuit à la glacière laisse cristalliser la majeure partie des stérols qui sont séparés par filtration; la solution évaporée laisse 275^{mg} d'un liquide jaune d'or.

Ce résidu, titré colorimétriquement par la réaction au ferricyanure ferrique, correspond à 59^{mg} de tocophérol, soit, si le pouvoir réducteur est attribuable au tocophérol, une richesse remarquable de 21,6 % en vitamine E pour l'insaponifiable purifié.

---

(1) M. Furter et R. E. Meyer, *Helv. Chim. Acta*, **22**, 1939, p. 240.

(2) *Comptes rendus*, **211**, 1940, p. 611.

Le pouvoir réducteur est bien dû au tocophérol. En effet, les cinétiques de réduction du ferricyanure ferrique par le tocophérol et par l'insaponifiable d'huile de ricin sont identiques. Dans les deux cas, le pouvoir réducteur est fortement diminué après chauffage en milieu alcalin et disparaît après acétylation ([3]), ([4]). Comme le tocophérol, l'insaponifiable purifié donne, avec l'acide nitrique fumant, une teinte rose, naturellement plus intense que celle observée par Furter et Meyer pour l'huile de ricin elle-même ([4]).

L'allure de la courbe d'absorption de l'insaponifiable purifié, en solution au millième dans le méthanol, est la même que celle du tocophérol ([5]) : bande à $294^{m\mu}$, minimum à $260^{m\mu}$. L'oxydation par le ferricyanure ferrique fait disparaître la bande à $294^{m\mu}$ et apparaître une bande beaucoup plus intense vers $270^{m\mu}$, de même que l'oxydation du tocophérol par le nitrate d'argent, le chlorure ferrique, le chlorure d'or ([5]), ([6]).

Nous attribuons, dès maintenant, à la présence du tocophérol (en moyenne 1 $^0/_{00}$), le pouvoir réducteur de l'huile de ricin sur le réactif au ferricyanure ferrique. Il est remarquable de voir cette huile, dont la masse provient de l'albumen ([7]), être si riche en vitamine E.

Nous nous sommes demandé si l'huile de germe serait plus riche encore. 125 embryons de ricin, soigneusement isolés, pesant 250^{mg}, ont fourni 120^{mg} d'huile, titrant 0,9 $^0/_{00}$ de tocophérol. L'huile d'embryon n'est donc pas plus riche que celle de la graine entière.

MICROBIOLOGIE. — *Sur un nouveau milieu de culture pour l'obtention des toxines microbiennes; application à la production de la toxine diphtérique et de la toxine staphylococcique, en vue de la préparation des anatoxines correspondantes.* Note ([1]) de M. **Gaston Ramon**, Mlle **Germaine Amoureux** et M. **Jacques Pochon**, présentée par M. Emmanuel Leclainche.

Poursuivant nos recherches sur la préparation économique des bouillons de culture destinés à l'obtention des toxines microbiennes ([2]), nous avons

([3]) P. Karrer et H. Keller, *Helv. Chim. Acta*, **22**, 1939, p. 259.
([4]) P. Meunier et A. Vinet, *Ann. Chim. Anal.*, **23**, 1941, p. 145.
([5]) H.-M. Evans, O.-H. Emerson et G.-A. Emerson, *J. Biol. Chem.*, **113**, 1936, p. 319.
([6]) P. Karrer et A. Geiger, *Helv. Chim. Acta*, **23**, 1940, p. 455.
([7]) On sait que la vitamine E a été trouvée dans l'huile *de germe* de blé.

([1]) Séance du 24 novembre 1941.
([2]) G. Ramon et G. Amoureux, *Comptes rendus*, **211**, 1940, p. 304.

étudié un milieu à base d'une digestion de viande de cheval au moyen de la papaïne (extraite du latex de *Carica papaya*) ([3]).

Au cours d'une centaine d'essais effectués dans les conditions les plus variées, nous avons établi, en premier lieu, plusieurs formules types de ce milieu spécialement adaptées à la production, en quantités importantes, de la toxine diphtérique et aussi de la toxine staphylococcique. Nous donnerons ici l'une de ces formules dont les autres ne diffèrent que par des variantes de détail.

La viande de cheval dont nous nous servons est une viande impropre à l'alimentation de l'homme; elle provient soit de chevaux producteurs de sérum, sacrifiés pour des raisons diverses, soit d'animaux saisis aux abattoirs.

4^{kg} de viande de cheval, dégraissée et hachée, sont mis dans 18^{l} d'eau (soit 225^{g} par litre) préalablement portée à 50°, en cuve de porcelaine. Le mélange est chauffé au bain-marie et quand la température atteint à nouveau 50°, on ajoute 36^{g} (soit 2^{g} par litre) de papaïne (titre 80). La réaction du mélange, sans addition de soude ou d'acide, se trouve être dans une zone de pH favorable à l'action de la papaïne. On chauffe alors de telle sorte que la température s'élève à 85° en 1 heure. On assiste, entre 65 et 70°, à une disparition presque totale de la viande en suspension. Le liquide est alors siphonné, filtré sur papier *mou*, amené à pH 8,4, additionné de 10 ‰ de levure fraîche de boulangerie ([4]), chauffé pendant un quart d'heure à 90° et filtré sur papier *dur*; il est parfois nécessaire de repasser à plusieurs reprises sur le même filtre jusqu'à ce que le liquide soit clair; on vérifie la réaction du bouillon qui est alors additionné de 5 ‰ d'acétate de sodium ([5]), réparti en ballons de Fernbach de 2^{l} à raison de 500^{cm^3} de liquide par ballon, et stérilisé à l'autoclave à 112° pendant 30 minutes.

On ajoute aseptiquement, dans chaque ballon, une solution stérile contenant $1^{g},25$ de glucose ([6]) et 3^{g} de maltose (sous le volume de 15^{cm^3}). Après ensemencement avec la souche des bacilles diphtériques *Américaine n°* 8, le milieu est maintenu à l'étuve à 34°-35° pendant 12 jours.

Après filtration des cultures sur bougie L_3, la richesse en toxine diphtérique des filtrats ainsi obtenus est appréciée au moyen de la réaction de floculation; elle est très généralement comprise dans nos essais entre 40

([3]) C'est la pénurie actuelle d'estomacs de porc, de pepsine et de trypsine qui nous a incités à recourir à la papaïne dont les propriétés fermentatives très actives sont bien connues et dont nous possédons un certain stock.

([4]) Spronck, *Annales Institut Pasteur*, **12**, 1898, p. 701; Paul Bordet, *Annales Institut Pasteur*, **61**, 1938, p. 618.

([5]) G. Ramon et A. Berthelot, *C. R. Soc. de Biologie*, **110**, 1932, p. 530.

([6]) G. Ramon, *Comptes rendus*, **189**, 1929, p. 718.

et 50 unités ([7]), valeur comparable à celle des meilleures toxines préparées à l'heure présente à partir du milieu à base d'hydrolyse pepsique de panses de porc (peptone Martin). Le pouvoir toxique de ces filtrats est tel qu'ils renferment au centimètre cube de 3500 à 4500 doses mortelles pour le cobaye de 250^g.

La toxine staphylococcique que nous avons préparée avec la collaboration de P. Mercier, à l'aide du même bouillon (sans sucres, ni acétate), titre en moyenne 10 unités au centimètre cube.

L'analyse chimique d'un bouillon obtenu d'après la formule type que nous venons de faire connaître nous a révélé les caractéristiques suivantes : extrait sec $0^g,40$ par litre; azote total $4^g,5$ par litre; azote aminé 1^g par litre.

Le nouveau milieu ainsi mis au point, en partant de la digestion papaïnique de viande de cheval, est d'une préparation facile, rapide, d'un prix de revient très réduit, alors que le milieu Martin à base d'autodigestion d'estomacs de porc et de macération de viande de veau, presque exclusivement employé jusqu'ici en France pour la production de la toxine diphtérique, exige des manipulations lentes et nombreuses (24 heures de digestion à 46-48°, plusieurs décantations à 48 heures d'intervalle, deux chauffages à 80-95°, etc.) et l'addition d'acide chlorhydrique, de soude, d'extrait de viande de veau etc. ([8]); il revient, dans ces conditions, à un prix relativement élevé, sans compter les difficultés actuelles de sa préparation.

Notre milieu peut donc être substitué, avantageusement et surtout économiquement, au milieu Martin, pour l'obtention des toxines microbiennes, et en particulier pour la production de grandes quantités de toxine diphtérique nécessaire à la préparation de l'anatoxine, destinée elle-même à la pratique, maintenant généralisée, de la vaccination antidiphtérique.

Un tel milieu convient en outre pour de nombreux usages en bactériologie. Les recherches entreprises à son sujet pouvant servir de base pour l'étude et pour la production industrielle, à bon marché, de peptones, offrant des degrés très variés de dégradation.

([7]) Des essais actuellement en cours nous indiquent que cette valeur pourra être sensiblement dépassée.

([8]) Voir G. Loiseau et M. Philippe, *Annales Institut Pasteur*, 62, 1939, p. 469. Voir également G. Ramon, *Revue d'Immunologie*, 5, 1939, p. 385.

MÉDECINE EXPÉRIMENTALE. — *Recherches expérimentales sur la peste. L'infection du Pou de l'Homme*, Pediculus corporis *de Geer*. Note (¹) de MM. **Georges Blanc** et **Marcel Baltazard**, présentée par M. Émile Roubaud.

En 1903 M. Herzog (²) observe des Bacilles pesteux dans les Poux de tête d'un malade. En 1914, N. H. Swellengrebel et L. Otten (³), inoculant à des cobayes des poux prélevés dans des vêtements de cadavres et d'habitants de maisons pesteuses obtiennent 7 résultats positifs sur 9. En 1915, O. L. L. de Raad (⁴), dans 5 expériences, infecte 100 % des cobayes inoculés avec des Poux de tête ayant piqué des pesteux septicémiques. Sukneff (⁵), en 1922, trouve infectés des Poux qu'il recueille sur un cadavre de pesteux. Enfin, Tsurumi et ses collaborateurs (⁶), en 1923, parviennent, après plus de 20 essais infructueux, à infecter un cobaye en déposant, sur lui, 100 poux qu'ils avaient, au préalable, mis à piquer sur un cobaye pesteux.

Bien que ces observations présentassent un intérêt suffisant à justifier de nouvelles recherches, aucun travail n'a été, dans la suite, publié sur cette question; le Pou, parasite strict de l'Homme, sans liaison possible avec aucun des réservoirs de virus connus de la peste, ne pouvait, en effet, présenter d'intérêt aux yeux d'épidémiologistes, qui, pour la plus grande part, niaient l'existence d'une transmission interhumaine.

Au cours d'une épidémie de peste bubonique sévissant dans la région des Aït Imour, au sud-ouest de Marrakech, nous avons pu faire une prospection qui nous a fourni quelques faits intéressants et permis d'entreprendre un certain nombre d'expériences sur le mode de transmission de la maladie. Dans cette Note nous exposons succinctement les résultats obtenus avec le Pou de l'Homme, *Pediculus corporis*.

1° *Infection naturelle du Pou.* — Des lots de poux, recueillis dans les vêtements de malades ou de cadavres, ont été broyés dans quelques centimètres cubes d'eau physiologique et inoculés sous la peau de l'abdomen de cobayes ou de rats blancs.

(¹) Séance du 17 novembre 1941.

(²) *Bureau of Govern. Laborat.*, Manilla, 23, 1904, p. 149.

(³) *Zbl. Bakt., Origin.*, 74, 1914, p. 592.

(⁴) *Mededeel. v. d. burg. geneesk. Dienst Ned. Ind.*, 4, 1915, p. 39.

(⁵) *Publ. École Méd. Karbine*, 1, 1922, p. 213.

(⁶) M. Tsurumi, C. Hara, M. Imai, T. Awoki et T. Sakamoto, *Jap. Med. World*, 1923, pp. 153 et 181.

Dans toutes les expériences positives, ces animaux sont morts de peste, de 3 à 8 jours après l'inoculation, en présentant les réactions classiques : placard séro-sanglant sous la peau de l'abdomen, adénites inguinale et axillaire, splénomégalie avec abcès, parfois infection pesteuse nodulaire des poumons ou du foie. Toutes les souches ainsi isolées furent vérifiées par culture et passage.

Cinq expériences portant sur des lots de 9, 44, 55, 80 et 100 poux, récoltés dans les vêtements de pesteux buboniques qui, par la suite, guérirent de leur maladie et dont l'hémoculture n'a pas permis d'isoler le germe, ont été négatives.

Trente-trois expériences sur des lots de 13 à 450 poux recueillis dans les vêtements de pesteux agonisants (2) ou morts (31) ont été positives. Dans tous les cas, sauf deux, la recherche du bacille pesteux par hémoculture ou simple examen de frottis faits avec la pulpe du foie recueillie par ponction, avait été positive.

2° *Durée de l'infection du Pou.* — Des lots de poux recueillis sur des cadavres sont conservés dans des tubes de Borrel fermés par une soie à bluter; chaque jour, ces poux sont nourris à trois reprises (matin, midi, soir) sur un volontaire guéri de peste bubonique.

Entre temps, les tubes sont mis à l'étuve à 24°. Des poux, ainsi conservés pendant 7 jours, ont infecté des cobayes.

3° *Virulence des déjections.* — Les déjections récoltées sont pesées, puis diluées dans quelques centimètres cubes d'eau physiologique et inoculées sous la peau de cobayes ou de rats blancs.

Six expériences sur six, portant sur 2^{mg} de déjections, ont été positives. La virulence se conserve pendant au moins neuf jours.

4° *Résistance du virus.* — Des poux morts ont été conservés à l'air libre, à la température du laboratoire (16°). Ces poux se sont montrés infectants, trois fois après 48 heures, une fois après 6 jours, une fois après 7 jours, une fois après 10 jours.

5° *Transmission par piqûre.* — Trois lots de poux, au total 75, recueillis sur des cadavres, nourris ensuite pendant 5 à 7 jours sur un bubonique guéri, furent déposés sur la peau épilée (non rasée) de l'abdomen d'un cobaye. Ces poux se gorgèrent rapidement et furent, aussitôt après, broyés et inoculés à des cobayes qui tous réagirent.

Le cobaye piqué fit une peste expérimentale typique, après une incubation de 7 jours. A l'autopsie, on trouvait, en plus de lésions viscérales très importantes et typiques de l'infection pesteuse, des adénites inguinale

et axillaire et, sous la peau, au niveau des piqûres, une réaction du même type que celle observée à la suite des inoculations sous-cutanées. Culture et passages confirmèrent l'authenticité de cette souche.

Résumé. — 1° Le Pou de l'Homme s'infecte pratiquement toujours sur les malades à la période agonique, au moment de la septicémie pesteuse.

2° Le Pou reste infecté pendant 7 jours au moins.

3° Les déjections du Pou infecté sont virulentes.

4° Les Poux infectés peuvent transmettre la peste.

M. **Frédéric Diénert** [1] adresse une Note intitulée *Au sujet des relations entre une rivière et une galerie filtrante latérale.*

La séance est levée à 15h30m.

A. Lx.

---

[1] Séance du 10 novembre 1941.

ERRATA.

(Séance du 10 novembre 1941.)

Note de M. *Roger Pajeau*, Condensation du cyclohexène avec quelques dérivés benzéniques halogénés :

Page 657, ligne 11, *au lieu de* 200°, *lire* 280°.

(Séance du 24 novembre 1941.)

Note de MM. *Marc Raucourt* et *Henri Guérin*, Sur les propriétés antidoryphoriques des arséniates alcalinoterreux :

Page 746, note (5), *au lieu de* M. Rancourt et H. Dégué, *lire* M. Raucourt et H. Bégué.